

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **2001-015844**

(43)Date of publication of application : 19.01.2001

(51)Int.Cl.

H01S 3/131

H01S 3/042

H01S 3/06

(21)Application number : 11-185966

(71)Applicant : SAIFASHA:YUGEN

(22)Date of filing : 30.06.1999

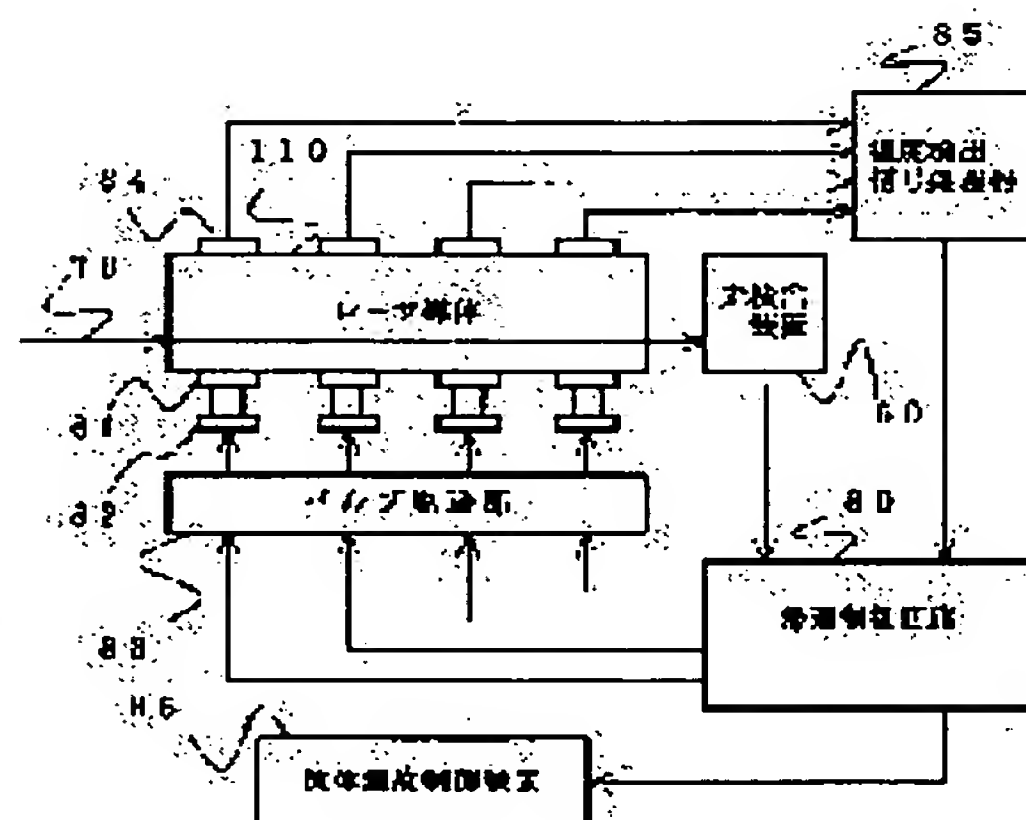
(72)Inventor : GOTO TETSUO

(54) SOLID LASER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a stable high-output laser beam of good quality at low cost.

SOLUTION: A fluid is flowed on at least one flow path 81, which comes into contact with the whole side surface (the end surface in the widthwise direction of a slab laser medium 110) of the slab laser medium 110 being held by an excitation chamber and has a substrate, and the quantity or speed of the fluid is adjusted by an adjusting valve 82 by a control of a valve driving part 83 to uniformize a temperature distribution in the widthwise direction of the section of the medium 110. The generation of a heat lens effect and a heat birefringence effect in the interior of the medium 110 is suppressed. As this result, the actuation of the whole medium 110 can be efficiently performed. The driving part 83 is controlled by a feedback control circuit 80 which properly processes a signal on the basis of optical information outputted from a photodetection unit 60 by monitoring the direction of transmitted light, the intensity distribution of the transmitted light, a change in beam 70 for detection or on the basis of temperature information detected by a temperature detection signal treater 85 by treating a detected signal corresponding to the flow path 81 by the treater 85.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-15844
(P2001-15844A)

(43)公開日 平成13年 1 月19日 (2001.1.19)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマト* (参考)
H 0 1 S	3/131	H 0 1 S	5 F 0 7 2
	3/042		Z
	3/06		L

審査請求 未請求 請求項の数14 O L (全 12 頁)

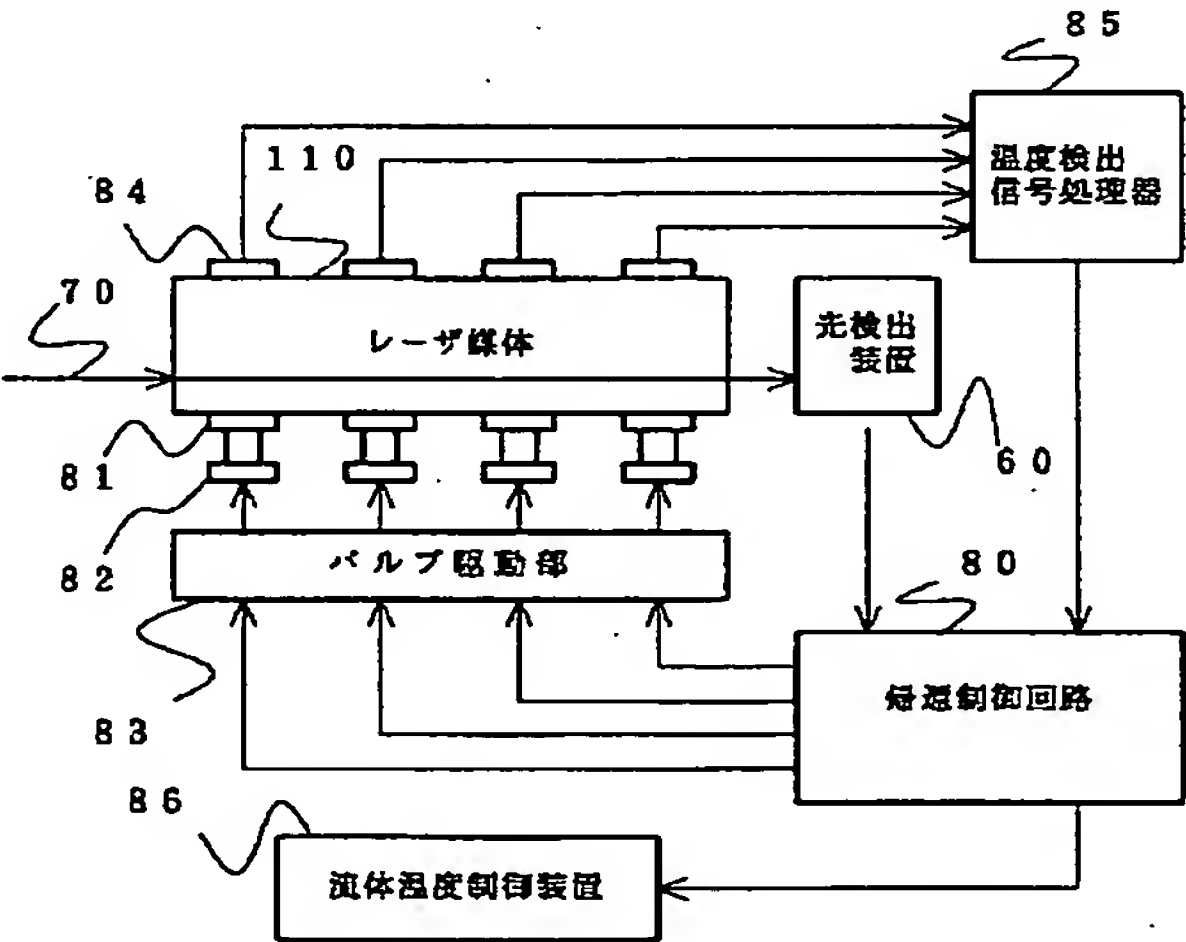
(21)出願番号	特願平11-185966	(71)出願人	594117157 有限会社サイファース社 東京都千代田区神田須田町 1-24
(22)出願日	平成11年 6 月30日 (1999. 6. 30)	(72)発明者	後藤 哲男 アメリカ合衆国、カリフォルニア州 95070、サラトガ、リバー ランチ サークル 13860
		(74)代理人	100071272 弁理士 後藤 洋介 (外 1 名)
		Fターム(参考)	5F072 AB02 AK03 HH02 HH03 JJ04 JJ05 JJ08 KK03 KK15 TT22

(54)【発明の名称】 固体レーザー装置

(57)【要約】

【課題】 品質のよい安定した高出力なレーザー光を安価に得ることができる。

【解決手段】 励起チャンバが保持するスラブ型レーザー媒体 110 の側面（幅方向の端面）全面に接する基板に有する少なくとも一つの流路 81 に流体を流し、バルブ駆動部 83 の制御により流体の量または速度を調整バルブ 82 で調整してスラブ型断面の幅方向の温度分布を均一化することにより、レーザー媒体 110 内部での熱レンズ効果と熱複屈折効果との発生を抑制する。この結果、スラブ型レーザー媒体 110 全体の作動を効率よくできる。バルブ駆動部 83 は、光検出装置 60 が検出用レーザー光 70 により透過光の方向、強度分布、偏光の変化等をモニタして出力した光情報に基づいて、または温度検出信号処理器 85 が流路 81 に対応する温度センサ 84 により検出した検出信号を処理して出力した温度情報に基づいて適正処理する帰還制御回路 80 により制御されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光の伝搬方向（Z軸方向）に対し垂直に切断して得られる矩形断面が有する幅方向（X軸方向）および厚さ方向（Y軸方向）に対しX-Z平面に平行な二つの平面を励起面とするスラブ型のレーザ媒体を収納した励起チャンバを有する固体レーザ装置において、前記レーザ媒体におけるY-Z平面に平行な側面である前記幅方向の二つの端面全面に沿って密接し、液体および気体の少なくとも一方よりなる流体を流す少なくとも一つの流路を有する基板を備えることを特徴とする固体レーザ装置。

【請求項2】 請求項1において、前記レーザ媒体における側面である前記幅方向における二つの端面の全面に密接するスラブ状の熱媒体を配設し、前記基板が前記熱媒体の表面に沿って備えられることを特徴とする固体レーザ装置。

【請求項3】 請求項2において、前記熱媒体は、前記レーザ媒体を励起する励起光を受ける面に前記励起光を反射する反射面を備えることを特徴とする固体レーザ装置。

【請求項4】 請求項1において、前記基板は、前記レーザ媒体を励起する励起光を受ける面に励起光を反射する反射面を備えることを特徴とする固体レーザ装置。

【請求項5】 請求項1において、前記流路は、スラブ状レーザ媒体の長さ方向（Z軸方向）に平行をなすことを特徴とする固体レーザ装置。

【請求項6】 請求項1において、前記流路は、スラブ状レーザ媒体の長さ方向（Z軸方向）に垂直でかつ前記流体の流れ方向が前記レーザ媒体の二つの前記端面それぞれに沿って単一方向であることを特徴とする固体レーザ装置。

【請求項7】 請求項1において、前記流路は、スラブ状レーザ媒体の長さ方向（Z軸方向）に垂直でかつ前記レーザ媒体の幅方向の前記端面に沿って外側から中央部に向かって互いに対向して流体が流入し、合流する中央部で前記端面の法線方向へ排出される経路を有することを特徴とする固体レーザ装置。

【請求項8】 請求項1において、前記基板に取り付け、前記流路それぞれの部分で前記レーザ媒体の前記側面に対するX軸方向の厚さおよびZ軸方向の幅における少なくとも一方を移動して前記流路の横断面積を可変する流路断面積可変駆動機構を、更に、備えることを特徴とする固体レーザ装置。

【請求項9】 請求項1において、前記レーザ媒体で発振された発振レーザ光の少なくとも一つの導光を取り出し、前記導光の方向、強度分布、および偏光の少なくとも一つを受けて検出し発振された前記発振レーザ光を監視する光検出装置を備えることを特徴とする固体レーザ装置。

【請求項10】 請求項1において、前記レーザ媒体に

より形成される共振器の外部から導入され、前記発振器内部で発振する発振レーザ光の光路と同等の光路により前記レーザ媒体内部を伝搬させる検査用レーザ光と、この検査用レーザ光を前記光路から取り出してこの検査用レーザ光の方向、強度分布、および偏光の少なくとも一つを受けて検出する光検出装置とを備えることを特徴とする固体レーザ装置。

【請求項11】 請求項1において、請求項8に記載の流路断面積可変駆動機構と、請求項9および請求項10のいずれか一方に記載の光検出装置と、この光検出装置の検出結果に基づいて前記流路断面積可変駆動機構を制御して前記レーザ媒体から出力される発振レーザ光の出力の低下、方向の変化、広がり角／収束角の発生、偏光の変化を含む異常状態を正常値に戻す帰還制御回路とを備えることを特徴とする固体レーザ装置。

【請求項12】 請求項1において、前記流路に注入する複数の流体供給路それぞれを少なくとも一つによりグループ形成して連結したグループそれぞれに、流体の供給圧を制御するポンプおよび調整バルブの少なくとも一方を有する流体供給圧可変駆動機構と、前記流体の温度を制御する流体温度制御装置とを備えることを特徴とする固体レーザ装置。

【請求項13】 請求項12において、前記流路の複数それぞれに前記レーザ媒体の一つの端面、すなわちY-Z面に対する温度を検出する温度センサと、これら温度センサの検出信号を処理する温度検出信号処理器と、この信号処理器の処理結果に基づいて前記流体供給圧可変駆動機構および前記流体温度制御装置を制御し検出する前記温度を適切値に戻す帰還制御回路とを更に備えることを特徴とする固体レーザ装置。

【請求項14】 請求項1において、請求項9に記載の光検出装置と、請求項12に記載の流体供給圧可変駆動機構および流体温度制御装置と、請求項13に記載の温度センサおよび温度検出信号処理器と、前記信号処理器の処理結果に基づいて前記流体供給圧可変駆動機構および前記流体温度制御装置を制御し前記温度センサが検出する検出温度を適切値に戻すと共に前記光検出装置の検出結果に基づいて前記流路断面積可変駆動機構を制御して前記レーザ媒体から出力される発振レーザ光の出力の低下、方向の変化、広がり角／収束角の発生、偏光の変化を含む異常状態を正常値に戻す帰還制御回路とを更に備えることを特徴とする固体レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レーザ光の伝搬方向（Z軸方向）に対し垂直に切断して得られる矩形断面が有する幅方向（X軸方向）および厚さ方向（Y軸方向）に対しX-Z平面に平行な二つの平面を励起面とするスラブ状のレーザ媒体を収納した励起チャンバを有する固体レーザ装置に関し、特に、発振または増幅の際に

品質のよい安定した高出力のレーザー光を安価に得ることができる固体レーザー装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、この種の固定レーザー装置には、YAG（イットリウム・アルミニウム・ガーネット）結晶中にネオジウム（Nd）イオンを含有させたレーザー媒体が用いられたYAGレーザー装置があり、1マイクロメートルの波長のYAGレーザー装置が産業用に広く実用化されている。

【0003】しかしながら、YAGレーザー装置では、金属などの溶接、切断などに应用する場合、実用的加工速度を得るために必要な数キロワットの大きな平均出力を得ることが困難である。その理由は、YAG結晶がランプ光またはレーザー光などで周囲から光励起されるので、この励起光を吸収して熱が内部に発生するからである。

【0004】この結果、結晶内部に生じる温度勾配と応力分布による熱光学効果が作用してレーザー光の屈折または偏光の解消を引き起こす。従って、大出力を得るために光励起の強度を大きくした場合には、十分な冷却能力と熱光学効果を補償する光学系が必要である。

【0005】近年、図12に示されるような、スラブ型のレーザー媒体110を用い、レーザー光を内部に閉じ込めてジグザグ光路を形成させるYAGレーザー装置が実用化の域に達した。

【0006】図示されているスラブ型のレーザー媒体110は、一般に採用される形状のものであり、Z軸である長さ方向に対してY軸を厚さ方向、またX軸を幅方向とする板状体の光学的に透明な結晶体である。すなわち、レーザー媒体110は、レーザー光の伝搬方向（Z軸方向）に対し垂直に切断して得られる矩形断面が有する幅方向（X軸方向）および厚さ方向（Y軸方向）に対し、X-Z平面に平行な二つの平面を励起面113とし、また、Y-Z平面に平行な二つの幅方向における端面を側面114とする。

【0007】また、レーザー媒体110は、励起されるレーザー光120の伝搬方向である長さ方向（Z軸方向）に対する両方の先端面でX軸に平行でかつY軸およびZ軸に斜めな平面をなす光入出射面111、112を有している。従って、Z軸に平行なレーザー光120が光入出射面111に対して入射角度 γ で入射した場合、図示されるように、入射した内部のレーザー光120は、レーザー媒体110の光屈折率のため、厚さ方向（Y軸方向）に屈折するとともにY軸方向に垂直な二つの平行なX-Z平面の励起面113を内部全反射面として全反射するジグザグ光路を形成し、光入出射面112からZ軸に平行に出射する。

【0008】この構造では、励起面（X-Z平面）113を介して投入される励起光を吸収することによりレーザー媒体110の内部に温度勾配がY軸方向に発生する一方、ジグザグ光路もY-Z平面に平行に形成されるの

で、上述した熱光学効果が補償されるという優れた特性を有している。更に、幅方向（X軸方向）の寸法を大きくすることによってX-Z平面である内部全反射面を形成する励起面113の冷却表面積が大きくなるので、大強度の励起光を受け入れることができる。従って、この構造は高出力を得るのに適している。

【0009】次に、特開平2-246388号公報に開示された光ポンプレーザーから、上述したスラブ型のレーザー媒体を内部に収めた励起チャンバーの内部構造および冷却水の流路に対する従来の一例について図13を参照して説明する。

【0010】図13に示されるように、スラブ結晶であるレーザー媒体210は、外部応力の影響を避けるためにシリコンゴムのような弾性体用具221を介してカセット222の内部で定位置に正確に保持される。また、結晶のレーザー媒体210を保持する弾性体用具221は同時にレーザー媒体210を冷却する冷却水230を封止する役割を担う。また、レーザー媒体210は、両面の励起面213に励起ランプが発光する励起光をガラス板またはサファイア板による透光板223を介して光励起される。

【0011】従って、冷却水230は、励起面213と透光板223との間隙231を流路としてレーザー媒体210を冷却すると共に、励起光を放射する励起ランプ（図示省略）および励起光の光路を形成する反射鏡224の周囲を流路として励起ランプおよび反射鏡224をも同時に冷却する。透光板223は冷却水の流路を形成すると共に励起ランプが破壊した際にレーザー媒体210を励起ランプの破片による損傷から防護する役目も有している。また、間隙231を流れる冷却水230の流れ方向は、レーザー媒体210の励起面213の長さ方向（Z軸方向）に対して両面とも同一方向、または、励起面213における一方の面の流れ方向が幅方向（X軸方向）に対して他方の面が反対方向であるように設定されている。

【0012】上述したような構造で、励起面213を介して光励起と冷却とを受けるレーザー媒体210は、内部に、スラブ形状の中心部で最大温度となり、中心から厚さ方向（Y軸方向）の距離の二乗に比例して減少する放物線の形状を有する温度分布を発生する。すなわち、温度勾配が厚さ方向（Y軸方向）に生じる。

【0013】しかしながら、上述する厚さ方向（Y軸方向）では放物線状を有する温度分布が、幅方向（X軸方向）で一様でない場合、伝搬するレーザー光はX-Z平面内で熱レンズ効果を受ける。従って、X軸に垂直なY-Z平面で境界面をなす側面214には熱的に遮断する断熱材225が密着して設けられている。断熱材225には、材質として耐熱性が高くかつ励起光に対して反射率の大きい材質が要求されるので、セラミック材などが用いられている。

【0014】一方、強いパルス励起の場合にはレーザ媒体の利得が大きいので、レーザ媒体210中で発生する自然放出光が上述の断熱材225で反射されると更に増幅され最終的には寄生発振に至る。この場合、励起によってレーザ媒体中に蓄えられた筈のエネルギーを損失することになる。この結果、本来の発振または増幅させるべきレーザ光の出力が低下する。従って、レーザ光と波長が同一な自然放出光をできる限り選択的に断熱材とレーザ媒体の側面との境界面で吸収させるため、自然放出光に対する吸収材をエッジクラディングとして上述した側面に溶融して密着させる場合もある。

【0015】更に、特開平8-18128号公報に開示されたスラブ型固体レーザの断熱構造の一例について図14を参照して説明する。

【0016】図14に示されるように、レーザ媒体310の幅方向の端面である側面314には、熱が通過可能な密着された断熱部材322の更に外側の面に、良熱電導体からなる伝熱部材321が添設されている。この構造において、励起面313に接触してレーザ媒体310を冷却する冷却水がレーザ媒体310の側面314（断熱部材322との密着面）近傍における過度の温度上昇を防止するとともに側面314近傍における励起面313の熱膨張を回避するために、断熱部材322の厚さを調整すること、更にレーザ媒体310の側面314に密着する断熱部材322の幅方向における両端側面部または一方の端部側面部に、冷却水が接触する露出面を形成することが提案されている。

【0017】周知のとおり、スラブ型のレーザ媒体における利点は、体積に対する表面積の割合がロッド型と比較して大きくとれるため排熱能力が高く、より大きな励起入力を与えることが可能で高出力が取り出せるということである。また、レーザ媒体内部で全反射を繰り返すジグザグ光路では、ジグザグの面内での熱レンズ効果が生じないため、高出力動作でもレーザ光の品質が悪化しないことが期待されている。

【0018】しかし、現実には、スラブ型のレーザ媒体を備えた光共振器から発振されたレーザ光の角度広がりには励起電気入力の増加と共に変化し、厚さ方向（Y軸方向）の角度広がりと比較して特に幅方向（X軸方向）の角度広がりの変化は顕著で増加の傾向にある。一方、高励起電気入力では、入力を短時間のうちに増加させる場合に出力は増大するが、次いでこの入力を固定した後に熱平衡状態に到達するまでにはレーザ光出力は減少し、熱平衡状態の実現と共に安定化する。この現象は、出力の飽和として知られている。この状態において、安定型光共振器出力鏡から出力されるレーザビームの強度パターンはレーザ媒体のX-Y断面の矩形形状から側面に近い部分の強度が低下した紡錘形状となっている。紡錘形状の断面積は当然、レーザ媒体の矩形断面積より小さいため、出力は低下する。

【0019】その理由は、スラブ型のレーザ媒体の幅方向（X軸方向）は有限なため、幅方向（X軸方向）の両方の側面からスラブの中心部へ向かって温度勾配が生じ、この結果、長さ方向（Z軸方向）へ進むレーザ光は熱レンズ効果によりX-Z平面に平行な面内で屈折し、レーザ光の中心軸に対し発散または収集するからである。

【0020】従って、側面に近いレーザ媒体の部分を透過するレーザ光は、高励起電気入力では光共振器内の発振モードから外れ、発振可能なモード体積は減少する。発振可能なモード体積が減少した場合、せっかくレーザ媒体内部にエネルギーを蓄積しても、外に取り出せるエネルギーはモード体積分のみなので、エネルギーの抽出効率は低下する。このことは、高出力の場合、特に顕著となる。

【0021】幅方向（X軸方向）の両方の側面に密接して断熱材を配備しているにも拘わらず温度勾配が生じる原因は断熱材が励起光に対して完全な反射体ではないため、側面と接する表面で励起光を吸収することにより表面の温度が高く上昇してしまうからである。従って、レーザ媒体側を側面から加熱することになる。また、断熱材上またはレーザ媒体の側面上の反射点から反射される励起光は角度広がりをもつため、平均値として単位体積当たりの吸収励起強度は側面の近傍で増加する。この結果、断熱材からの加熱と相乗して温度勾配が発生する。

【0022】温度勾配の状況に関する一例を図7（A）に示す。図7（A）では、レーザ媒体310の断面における等温度線により温度分布が模式的に示されている。図示されるように、厚さ方向（Y軸方向）に沿って見た温度分布は、スラブ中心に比べて側面314の近傍では放物線分布から歪み、かつ高温領域が広い。すなわち、断熱材322は受動的な熱境界条件を与えることができず、励起光が共存するために能動的な熱境界条件となっており状況が複雑化している。

【0023】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来のスラブ型レーザ媒体を用いた固体レーザ装置では、次のような問題点がある。

【0024】第1の問題点は、レーザ光の出力向上が不十分なことである。

【0025】その理由は、上述したように、スラブ型のレーザ媒体の幅方向（X軸方向）は有限なため、幅方向（X軸方向）の両方の側面からスラブの中心部へ向かって温度勾配が生じ、この結果、長さ方向（Z軸方向）へ進むレーザ光は熱レンズ効果によりX-Z平面に平行な面内で屈折し、レーザ光の中心軸に対し発散または収集するからである。また、断熱材を配備した場合でも、断熱材が励起光に対して完全な反射体ではないため、側面と接する表面で励起光を吸収することにより表面の温度

が高く上昇して温度勾配が生じるからである。

【0026】第2の問題点は、レーザ媒体の側面近傍で内部の温度分布に関する理想的な整形が不可能であり、かつレーザ光の励起強度を変化させることができず実用上不便なことである。

【0027】その理由は、後者の公開公報で開示された断熱部材の形状を変化させてこの断熱部材の端部にレーザ媒体を冷却する冷却水を接触させるだけでは、レーザ光のジグザグ光路をとるレーザ媒体の側面近傍の内部温度分布を自在に整形できないからである。すなわち、断熱部材の厚みは製品になった後では固定しているためレーザ媒体の光励起強度を変化させることに連動して断熱量を調整することができないうえ、スラブ型のレーザ媒体の励起面を冷却する冷却水がそのまま利用されるので断熱部材が添設されない部分および断熱面それぞれの冷却量をレーザ媒体本体と独立して調整することができないからである。

【0028】第3の問題点は、レーザ光が入出射する光入出射面で反射損失が増加することである。

【0029】その理由は、上述したように、断熱材を配置したにも拘わらずスラブの幅方向（X軸方向）の両端面からスラブ中心へ向かって温度勾配が生じるため、側面それぞれを中心にして内部応力が、高出力の場合には特に顕著に、三次元的に発生するからである。この結果、スラブの傾斜面を透過して入射したP偏光レーザ光は幅方向（X軸方向）の両端面近傍、すなわち側面近傍では長さ方向（Z軸方向）へジグザグ伝搬中に楕円偏光となる。従って、このように生じる偏光解消の効果により伝搬中にS偏光成分が増加するため、レーザ光はスラブの光出射面である傾斜面で大きな反射損失を受けるからである。

【0030】本発明の課題は、このような問題点を解決して、エネルギー抽出効率の向上による高出力の確保、出力ビームの品質悪化防止、および出射面における反射損失の低減を図り、この結果、品質のよい安定した高出力のレーザ光を安価に得ることができる固体レーザ装置を提供することである。

【0031】

【課題を解決するための手段】本発明による固体レーザ装置は、レーザ光の伝搬方向（Z軸方向）に対し垂直に切断して得られる矩形断面が有する幅方向（X軸方向）および長さ方向（Y軸方向）に対しX-Z平面に平行な二つの平面を励起面とするスラブ型のレーザ媒体を収納した励起チャンバを有するものであって、前記レーザ媒体におけるY-Z平面に平行な側面である前記幅方向の二つの端面全面に沿って密接し、液体および気体の少なくとも一方よりなる流体を流す少なくとも一つの流路を有する基板を備えている。この構造により、本発明による固体レーザ装置に収納されるレーザ媒体は励起面に流すと同様に上記流路に冷却流体を流してレーザ媒体周囲

の熱交換を行なうことによりレーザ媒体の幅方向に生じる温度分布を効率よく制御している。

【0032】また、前記レーザ媒体における側面である前記幅方向における二つの端面の全面に密接するスラブ状の熱媒体を配設し、前記基板が前記熱媒体の表面に沿って備えられることにより、効率よい温度制御が可能である。また、前記熱媒体は前記レーザ媒体を励起する励起光を受ける面に前記励起光を反射する反射面を備えることが好ましく、また前記基板は前記レーザ媒体を励起する励起光を受ける面に励起光を反射する反射面を備えることが好ましい。この構造により、励起効率の低下を防止することができる。

【0033】また、上述した流路は、スラブ状レーザ媒体の長さ方向（Z軸方向）に平行をなしても、スラブ状レーザ媒体の長さ方向（Z軸方向）に垂直でかつ前記流体の流れ方向が前記レーザ媒体の二つの前記端面それぞれに沿って単一方向であっても、または、スラブ状レーザ媒体の長さ方向（Z軸方向）に垂直でかつ前記レーザ媒体の幅方向の前記端面に沿って外側から中央部に向かって互いに対向して流体が流入し合流する中央部で前記端面の法線方向へ排出される経路を有してもよい。

【0034】また、本発明による固体レーザ装置は、前記基板に取り付け、前記流路それぞれの部分で前記レーザ媒体の前記側面に対するX軸方向の厚さおよびZ軸方向の幅における少なくとも一方を移動して前記流路の横断面積を可変する流路断面積可変駆動機構を、更に備えることができる。また、前記流路に注入する複数の流体供給路それぞれを少なくとも一つによりグループ形成して連結したグループそれぞれに、流体の供給圧を制御するポンプおよび調整バルブの少なくとも一方を有する流体供給圧可変駆動機構と、前記流体の温度を制御する流体温度制御装置とを備えることができる。このような構造により、レーザ媒体の幅方向に生じる温度分布を更に効果的に制御することができる。

【0035】また、本発明による固体レーザ装置は、前記レーザ媒体で発振された発振レーザ光の少なくとも一つの導光を取り出し、前記導光の方向、強度分布、および偏光の少なくとも一つを受けて検出し発振された前記発振レーザ光を監視する光検出装置を備えることができる。また、前記レーザ媒体により形成される共振器の外部から導入され、前記発振器内部で発振する発振レーザ光の光路と同等の光路により前記レーザ媒体内部を伝搬させる検査用レーザ光と、この検査用レーザ光を前記光路から取り出してこの検査用レーザ光の方向、強度分布、および偏光の少なくとも一つを受けて検出する光検出装置とを備える構成であってもよい。

【0036】また、前記流路の複数の前記レーザ媒体の一つの端面、すなわちY-Z平面に対する温度を検出する温度センサと、これら温度センサの信号を処理する検出温度信号処理器とを備えることができる。

【0037】従って、上述した流路断面積可変駆動機構、流体供給圧可変駆動機構、流体温度制御装置、光検出装置、並びに温度センサおよび検出温度信号処理器を組み合わせて、光検出装置の検出結果または検出温度信号処理器の処理結果に基づいて前記流路断面積可変駆動機構、前記流体供給圧可変駆動機構、および流体温度制御装置の少なくとも一つを制御し前記温度センサが検出する温度を適切値に戻すと共に前記レーザ媒体から出力される発振レーザ光の出力の低下、方向の変化、広がり角／収束角の発生、偏光の変化を含む異常状態を正常値に戻す帰還制御回路を備えることができる。

【0038】このような構成により、レーザ媒体に対する温度分布を木目細かく制御できるので、レーザ媒体の幅方向に生じる温度分布を一様になるように、または予め定められた分布になるように任意の励起電気入力で実時間フィードバック制御を実行することができる。従って、高出力で安定した高品質の出力を得ることができる。

【0039】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0040】まず、図1を参照して、スラブ型のレーザ媒体110の幅方向（X軸方向）における端面である側面114に沿った流体の流路について説明する。

【0041】スラブ型のレーザ媒体110は、レーザ光の伝搬方向を長さ方向（Z軸方向）とし、この方向に対し垂直に切断して得られる矩形断面115が有する幅方向（X軸方向）および厚さ方向（Y軸方向）に対してX-Z平面に平行な二つの励起面113と、レーザ媒体110における幅方向（X軸方向）の二つの端面、すなわちY-Z平面に平行な側面114とを有している。また、レーザ媒体110は、図12を参照して既に説明したように励起されるレーザ光120の伝搬方向である長さ方向（Z軸方向）に対する両方の先端面でX軸に平行でかつY軸およびZ軸に斜めな平面をなす光入出射面111, 112を有している。

【0042】このような側面114に沿った流体の流路方向は図1（A）、（B）、（C）に示されるように三種類に大別することができる。

【0043】図1（A）に示される場合は、流路方向11がレーザ媒体110の長さ方向（Z軸方向）に平行な場合である。この場合、スラブ型のレーザ媒体110の主冷却面であるX-Z平面に平行な励起面113に沿って流れる流体も同一方向を向くことが望ましいがそれには限定されない。

【0044】図1（B）に示される場合は、流路方向12がレーザ媒体110の厚さ方向（Y軸方向）に平行な場合である。この場合、スラブ型のレーザ媒体110の主冷却面であるX-Z平面に平行な励起面113に沿って流れる流体は幅方向（X軸方向）に平行であることが

望ましいがそれには限定されない。

【0045】図1（C）に示される場合は、流路方向13がレーザ媒体110の幅方向（X軸方向）における端面である側面114の、長さ方向（Z軸方向）における二つの縁線から側面114の中央部に向かって互いに対向しており、かつ中央部で合流して側面114の法線方向へ流れる。

【0046】次に、図2に図1を併せ参照して側面114近傍における本発明の実施の一形態について説明する。

【0047】図示される固体レーザ装置は、中央に配置された図1で示されたレーザ媒体110の側面114に基板21が密着する場合である。側面114に密着する基板21の密着面22には、流体10が通過する溝状の流路24が形成されている。従って、流体10は側面114に直接接触する。基板21の密着面22と流路24において側面114に対向する対向面23とはレーザ媒体110で励起する励起光の強度に耐え、これを反射する物質、例えば白セラミックスを用いた反射面を有していることが望ましい。この構成におけるスラブ型のレーザ媒体110内部の温度分布については図7（B）を参照して後に説明する。

【0048】次に、図3を参照して図2における流路24の横断面積を可変にした一例について説明する。図示される基板21aはレーザ媒体110の側面114に密着しているが、流路24aを形成する部分が流体に対する封止体31としてレーザ媒体110の側面114の法線方向に移動可能に分離配置されている。封止体31は、駆動棒32および駆動歯車33により構成される流路断面積可変駆動機構30により駆動され、固定された駆動棒32が駆動歯車33により移動することにより移動して流路24aの断面積を変化させ、流路24aを流れる流体の量または速度を任意に調整することができる。上述したように、側面114と密着する基板21aの密着面22aと側面114と対向する封止体31の対向面34とはレーザ媒体110に対して例えば白セラミックスを用いた反射面を形成していることが望ましい。図示されていないが、複数の封止体31に対してはそれぞれが個別に制御される構造が望ましいが、駆動棒32が連動する構造であってもよい。

【0049】次に図4には、図2における基板21とレーザ媒体110の側面114とで形成される流路24に流体供給路43を介して注入する流体の流量をポンプ41および調整バルブ42などの流体供給圧可変駆動機構40を用いて調整する構成が示されている。流体供給圧可変駆動機構40は、上述した流路断面積可変駆動機構30と併用することにより木目の細かい流量調整ができる。また更に、温度を安定に制御した流体を流体供給圧可変駆動機構40に供給する流体温度制御装置45を備えることが望ましい。

【0050】次に、図5を参照して図2と相違する実施の形態について説明する。

【0051】図5が図2と相違する点は、レーザ媒体110の側面114と基板21との間に側面114に密着する角柱または板状の熱媒体25が配設されていることである。この構造により、流体は、熱媒体25において、レーザ媒体110の側面114側において流路24部分を形成する背面と、レーザ媒体110の励起面113と同一面を形成する側面との両者に沿って流れる。レーザ媒体110と密接する熱媒体25は、レーザ媒体110と同一またはできる限り近い値の熱伝導率を有し、レーザ媒体110と密接する密接面26がレーザ媒体110で励起する励起光の強度に耐え、これを反射する物質、例えば白セラミックスからなる反射面で被覆されていることが望ましい。

【0052】図2での流路24部分はレーザ媒体110の側面114と基板21の対向面23とに挟まれた空間で形成されているが、図5での流路24部分は、熱媒体25の背面と基板21の対向面23とに挟まれた空間で形成されている。このような構成におけるスラブ型のレーザ媒体110内部の温度分布については図7(C)を参照して後に説明する。

【0053】また、図6に示されるように、熱媒体25が配設された場合においても、上述したように、封止体31、駆動棒32、および駆動歯車33により構成される流路断面積可変駆動機構30を備えて流路の断面積を可変にでき、また、流体供給路43を介して流路24へ注入する流体の流量をポンプ41および調整バルブ42などの流体供給圧可変駆動機構40を用いて調整することができる。

【0054】上記説明では、スラブ型のレーザ媒体の側面(Y-Z平面)における流路を、図1(B)に示す厚さ方向(Y軸方向)としたが、例えば図1(A),

(C)に示されるような他の方向の流路であってもよく、また、流路断面積の調整を行なう場合、流路断面積可変駆動機構が駆動棒により封止体を移動させてレーザ媒体の側面との間隙を変化させるとしたが、流路断面積が可変となる構造であれば、上述した構造と別の構造であっても構わない。

【0055】次に、図7を参照してスラブ型レーザ媒体110のX-Y平面に平行な断面における温度分布について説明する。冷却用の流体は、図示されたX-Y平面に平行な断面の周囲を流れる。図7は、計算の結果として求められた温度の等高線により温度分布を示す模式図である。

【0056】図7(A)は従来型のものであり、レーザ媒体310の側面314に断熱材322を密着させている。この構成では、既に上述し図示されるように、X軸方向で側面314に密着する断熱材322のためにレーザ媒体310の内部に向かって比較的広い範囲で温度勾

配が発生する。

【0057】図7(B)は上記図2の構成によるものであり、流体10がレーザ媒体110の周囲を励起面113上および流路24を用いて側面114上も流れるので、レーザ媒体110の断面形状に沿って等高線が現われている。この状態では、図7(A)と比較して、X軸方向で狭い範囲にのみ温度勾配が現れるので、より大きなレーザ出力を得ることができる。

【0058】図7(C)は上記図5の構成によるものであり、レーザ媒体110の側面114に熱媒体25が密着している。流体10は、レーザ媒体110のX-Y平面に平行な断面において、レーザ媒体110の励起面113、並びに熱媒体25における励起面113と同一面をなしている側面26および流路24を形成する背面27に接触する。このことは、図7(A)における側面114が熱媒体25の背面27に移動したことと同一条件である。従って、X軸方向の端部で現れる狭い範囲の温度勾配は熱媒体25内に現れるので、レーザ媒体110本体内部では温度分布がX軸方向にほぼ均一となる。この傾向は、熱媒体25の熱伝導率がレーザ媒体110の熱伝導率に近いほど、またレーザ媒体110との密着性がよいほど確実に実現する。

【0059】次に、図8に図1を併せ参照してレーザ媒体内部に発生する熱光学的歪みを監視する構成における実施の第1の形態について説明する。

【0060】図示される例では、検出用レーザ光70として、ヘリウムネオンレーザ光が用いられ、検出用レーザ光70がプリズム分波器51により分波されスラブ型レーザ共振器としての全反射鏡52側からレーザ媒体110へ入射している。プリズム分波器51の入射面および出射面には無反射コーティングが施され、ビームスプリッタ面では反射光と透過光との強度比を1:1にするように光学多層膜がコーティングされている。ビームスプリッタ面で分波された検出用レーザ光71は、レーザ媒体110のX軸方向の端面である二つの側面114(図1)の近傍をレーザ発振光と同一のジグザグ光路をたどり、Z軸に平行に進行して共振器としての出力鏡53で一部が反射する。反射した検出用レーザ光72は、往路を逆進し、プリズム分波器51のビームスプリッタを介して光検出装置60へ入射し光検出装置60により検出される。

【0061】光検出装置60は、入射光を例えば図示されるように偏光子64および結像光学レンズ61を介して二次元画像検出器62で検出し検出データを画像処理部63で処理する。勿論、光検出装置60はこの構成に限定されない。また、共振器の出力鏡53を透過した検出用レーザ73の変化を、ビームスプリッタ54を介して光検出装置60aが検出することとしてもよい。二次元画像検出器62としては、例えばCCDセンサを用いることができる。

【0062】次に、図9に図1を併せ参照してレーザ媒体内部に発生する熱光学的歪みを監視する構成における実施の第2の形態について説明する。第2の形態はレーザ共振器として折り返し型共振器を用いた例であり、共振器内部に、発振レーザ光に対しては全反射するが検出用のヘリウムネオンレーザ光はほぼ透過させるダイクロイック（二色性）ミラー55と全反射プリズム56とを用いている。

【0063】すなわち、ヘリウムネオンによる検出用レーザ光70は検出用ビームスプリッタ57およびダイクロイックミラー55を介してレーザ媒体110の側面114近傍を透過し全反射プリズム56で全反射されてレーザ媒体110の逆の側面114近傍を透過し出力鏡53で一部反射される。この一部反射の検出用レーザ光74は往路を逆進してレーザ媒体110の外部へ出射し検出用ビームスプリッタ57で一部反射する。この一部反射した検査用レーザ光75が光検出装置60へ入射され、検出用レーザ光70の変化が検出処理される。出力鏡53で透過した検出用レーザ光76のビーム変化は、出力側のビームスプリッタ54を介して光検出装置60aにより検出することもできる。

【0064】次に、図10に図1を併せ参照してレーザ媒体内部に発生する熱光学的歪みを監視する構成における実施の第3の形態について説明する。第3の形態は検出用レーザ光として、スラブ型レーザ共振器内部で発振したレーザ光121の一部を検査用レーザ光70として利用し、P偏光全反射鏡58および四分の一波長板59が備えられている。

【0065】すなわち、共振器内部でスラブ型のレーザ媒体110における入出射面112の近傍に備えられたP偏光全反射鏡58は、スラブ型のレーザ媒体110の幅方向（X軸方向）でほぼ二分の一を占有して斜めに配置されている。このP偏光全反射鏡58を内部に含む共振器では発振するレーザ光はP偏光波となる。レーザ媒体110の中心軸寄りでP偏光全反射鏡58から漏れたP偏光波の発振レーザ光は検出用レーザ光70として取り出され、四分の一波長板59およびプリズム鏡56により折り返してS偏光波とされる。P偏光全反射鏡はS偏光波を透過するので、このS偏光波の検査用レーザ光78はP偏光全反射鏡58を透過してレーザ媒体110へ入射する。レーザ媒体110を透過したS偏光波の検査用レーザ光78は上記P偏光全反射鏡58と平行に配置されたP偏光全反射鏡50を透過して光検出装置60に入射する。

【0066】上述した構成により、検出用レーザ光がレーザ媒体を透過して光検出装置に達し、光検出装置が受けたレーザ光からレーザ光の方向、強度分布、および偏光それぞれを検出することができるが、上記構成要素による組み合わせの変更は上記機能を満たす限り自由であり、上記説明が本発明を限定するものではない。

【0067】次に、図11に図2、4および図8を併せ参照してスラブ型のレーザ媒体110内部における温度分布の制御について説明する。

【0068】この実施例では、レーザ媒体110に対して、光検出装置60、流路81、調整バルブ82、バルブ駆動部83、温度センサ84、温度検出信号処理器85、流体温度制御装置86および帰還制御回路80が設けられている。

【0069】光検出装置60は、図8に示されるように、入射光を二次元画像検出器62で検出し検出データを画像処理部63で処理することにより、レーザ媒体110を透過して入射する検出用レーザ光70から、検出用レーザ光70のビームスポットの位置ずれ、強度分布、偏光、またはこれらを同時に検出して画像情報に形成する。更に、光検出装置60は、レーザ媒体110によるレーザ発振のパターンの変化を検出して画像情報に形成する。これら画像情報は帰還制御回路80に与えられ演算処理されてバルブ駆動部83を制御する。

【0070】調整バルブ82は、図4に示される複数の流路24に流体供給路43を接続して設けられる調整バルブ42と同一機能を有し、それぞれの調整バルブ82がバルブ駆動部83により調整駆動される。バルブ駆動部83は帰還制御回路80から複数の調整バルブ82それぞれに対する制御情報を受ける。

【0071】複数の温度センサ84は、レーザ媒体110の長さ方向（Z軸方向）で所定の間隔に配設される。例えば、温度センサ84は、調整バルブ82に対応する流路位置に配設され、レーザ媒体110の側面における表面温度を検出して温度検出信号処理器85へ送る。温度検出信号処理器85は受けた表面温度の検出信号を処理し検出温度情報として帰還制御回路80へ送る。流体温度制御装置86は、調整バルブ82を調整したのみでは検出温度が適切値に到達しない場合に帰還制御回路80の制御により流入される流体の温度を調整することができる。

【0072】帰還制御回路80は、光検出装置60からの画像情報または温度検出信号処理器85からの検出温度情報という検出結果に基づいて、バルブ駆動部83を制御して調整バルブ82それぞれを調整し、温度センサ84が検出する検出温度を適切値に戻すと共にレーザ媒体110から出力される発振レーザ光の出力の低下、方向の変化、広がり角／収束角の発生、偏光の変化を含む異常状態を正常値に戻す。上述したように、帰還制御回路80は、更に、調整バルブ82を調整したのみでは検出温度が適切値に到達しない場合に流体温度制御装置86を制御して流入する流体の温度を調整する。

【0073】具体的には、レーザ発振させずにレーザ媒体110を励起した際の検査用レーザ光におけるビーム位置の変化またはパターンの変化を測定し、これらの変化を最小に補正する最適な複数の調整バルブ82に対す

る開閉位置の組み合わせデータによりレーザ媒体110の励起光への電気入力関数として帰還制御回路80に予め記憶させておく。この組み合わせを出発点として、レーザ発振させた際の発振レーザ強度パターンおよびレーザ品質の値が最良となるような組み合わせを帰還制御回路80内部で自動的に演算処理することにより、常に最適化状態を維持することができる。

【0074】上述した帰還制御により、レーザ媒体内部の温度分布を厚さ方向(Y軸方向)の理想的な一次元分布に極力保持した結果、スラブ型のレーザ媒体における有効発振モード体積の減少を防止し、熱平衡の際のレーザ出力を増大させ、かつレーザ光の発振パターンおよびビーム品質の向上と時間的安定性とを実現することができる。

【0075】上記説明では、流体の流路に対して調整バルブによる流体の流量制御のみであったが、この構成による流量制御に代えて、図2を参照して説明した流路の断面積を変更する制御としても、また双方を併用して更に細かい制御をすることもできる。また、図5を参照して説明した実施例にも適用できることは勿論である。このように、上記説明以外の構成要素の組み合わせなどにおいても、上記機能を満たす限り自由であり、上記説明が本発明を限定するものではない。

【0076】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、次のような効果を得ることができる。

【0077】第1の効果は、共振器におけるレーザ発振可能なレーザ媒体のモード体積比率が増大し、エネルギー抽出効率が向上するため、高出力が実現できることである。

【0078】その理由は、スラブ型のレーザ媒体における幅方向(X軸方向)の端面である二つの側面から中心部へ向かう領域の温度分布を、レーザ媒体の周囲における流体の冷却能力を利用して制御し、厚さ方向(Y軸方向)のみに変化する理想的な一次元温度分布に近づけることによって幅方向(X軸方向)の熱レンズ効果を防止しているからである。この結果、レーザ媒体の発振可能モードの体積比率を最大にすることができる。従って、励起されたレーザ媒体の体積全体のうち、発振モード体積との重なり合いの部分に蓄えられたエネルギーがレーザ光として外部へ取り出されるので、高励起状態でも発振可能モードの体積が熱レンズ効果により減少することがなければ、励起強度に比例して高出力が得られる。

【0079】第2の効果は、スラブ型のレーザ媒体の出射面における反射損失を抑制し、発振効率のよい高出力が実現できることである。

【0080】その理由は、スラブ型のレーザ媒体における幅方向(X軸方向)の端面である二つの側面から中心部へ向かう領域の温度分布を、レーザ媒体の周囲における流体の冷却能力を利用して制御し、厚さ方向(Y軸方

向)のみに変化する理想的な一次元温度分布に近づけることによってスラブの傾斜面を通過して入射したp偏光のレーザ光が幅方向(X軸方向)の両端面近傍で長さ方向(Z軸方向)へジグザグ伝搬しても、s偏光成分を有する楕円偏光になることはないからである。すなわち、スラブの傾斜面での入出射で光の反射損失が起こらないため、発振効率が高く高出力を得ることができる。

【0081】第3の効果は、レーザ光のビーム品質がよく、安定した高出力を実現できることである。

【0082】その理由は、熱レンズ効果が発生しないからである。すなわち、指向性のよいレーザビームを取り出すことができるので、出力レーザのビーム品質が向上している。また、レーザ媒体内部を監視する検出用レーザ光の信号に応じて流体を帰還制御することによってレーザ媒体の温度分布を制御しているので、安定性と高出力とを両立して得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】スラブ型のレーザ媒体における幅方向(X軸方向)の端面(Y-Z平面)に沿って流れる流体の流路方向についての例を示す説明用斜視図である。(A)は長さ方向(Z軸方向)に平行な流路方向の一例を示す斜視図である。(B)は厚さ方向(Y軸方向)に平行な流路方向の一例を示す斜視図である。(C)は厚さ方向(Y軸方向)で対向した流路方向の一例を示す斜視図である。

【図2】スラブ型のレーザ媒体における幅方向(X軸方向)の端面(Y-Z平面)に流体の流路を有する実施の一形態を示す斜視図および流路断面図である。

【図3】図2における流路の断面積を可変とする機構の実施の一形態を示す斜視図および流路断面図である。

【図4】図2における流路の流量を可変とする実施の一形態を示すブロック図である。

【図5】図2とは別の実施の一形態を示す斜視図および流路断面図である。

【図6】図5における流路の断面積を可変とする機構の実施の一形態を示す流路断面図(A)および流路の流量を可変とする実施の一形態を示すブロック図(B)である。

【図7】スラブ型のレーザ媒体断面における温度分布の例を等高線によって示す説明図である。(A)は断熱材を密接した従来の一例を示す説明図である。(B)は図2の構成に対する説明図である。(C)は図5の構成に対する説明図である。

【図8】検出用レーザ光をスラブ型のレーザ媒体の内部を通過させてその変化を検出する光検出装置を接続する構成における実施の一形態を示すブロック図である。

【図9】図8とは別の接続構成を有する実施の一形態を示すブロック図である。

【図10】図8, 9とは別の接続構成を有する実施の一形態を示すブロック図である。

【図11】本発明におけるスラブ型のレーザ媒体内部の温度分布を制御する構成の実施の一形態を示すブロック図である。

【図12】スラブ型のレーザ媒体の一例を示す斜視図、側面図、および平面図である。

【図13】従来の一例を示す断面説明図である。

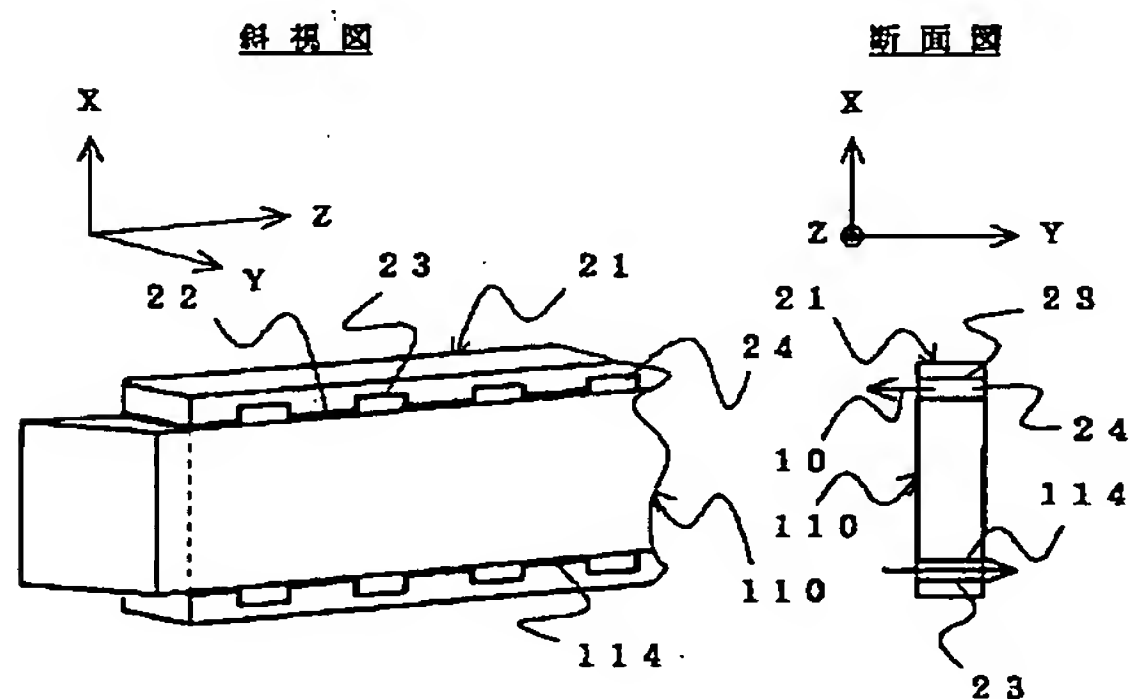
【図14】従来のスラブ型のレーザ媒体における側面の構成の一例を示す正面図および平面図である。

【符号の説明】

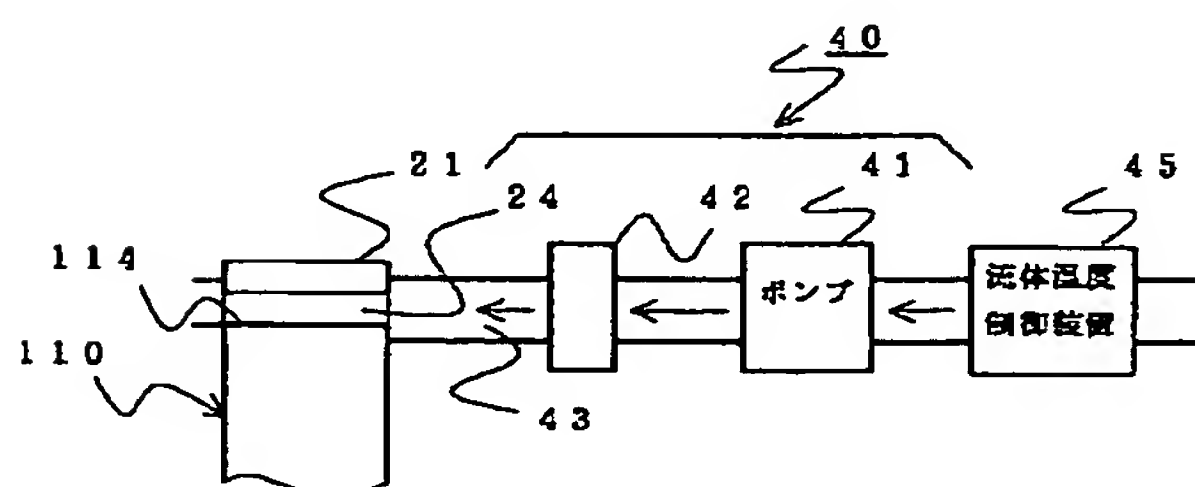
10 流体
11、12、13 流路方向
21、21a 基板
22、22a、26 密着面（反射面）
23、34 対抗面（反射面）
24、24a、81 流路
25 熱媒体
26、114 側面
27 背面
30 流路断面積可変駆動機構
31 封止体
32 駆動棒
33 駆動歯車
40 流体供給圧可変駆動機構
41 ポンプ
42、82 調整バルブ
43 流体供給路

45、86 流体温度制御装置
50、58 P偏光全反射鏡
51 プリズム分波器
52 全反射鏡
53 出力鏡
54 ビームスプリッタ
55 ダイクロイックミラー
56 全反射プリズム
57 検出用ビームスプリッタ
59 四分の一波長板
60、60a 光検出装置
61 結像光学レンズ
62 二次元画像検出器
63 画像処理部
64 偏光子
70、71、72、73、74、75、76、77 検出用レーザ光
80 帰還制御回路
83 バルブ駆動部
84 温度センサ
85 温度検出信号処理器
110 レーザ媒体
111、112 入出射面
113 励起面
115 スラブ断面
121 レーザ光

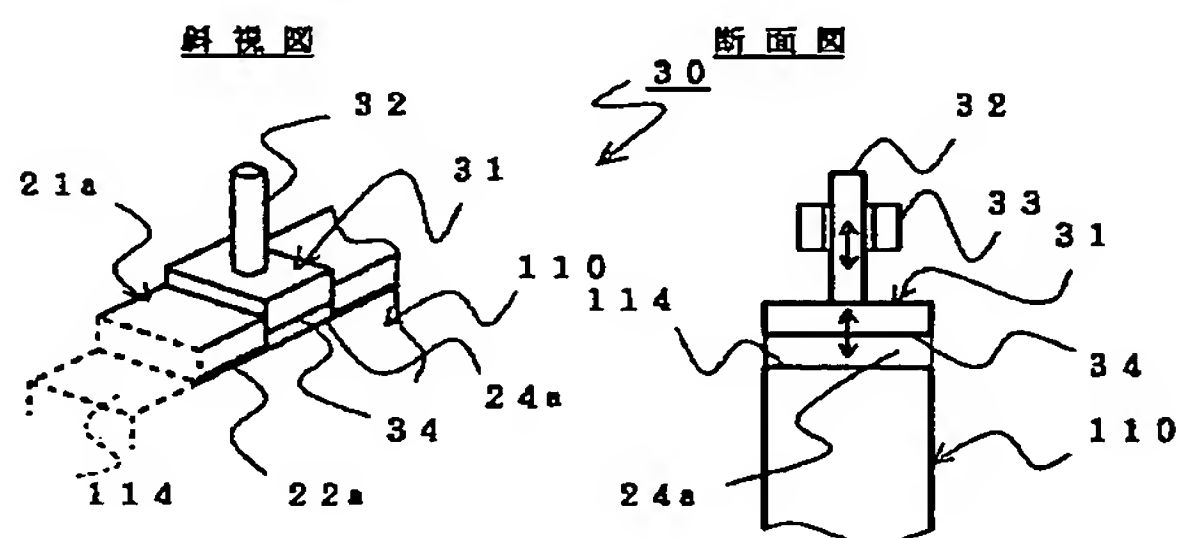
【図2】



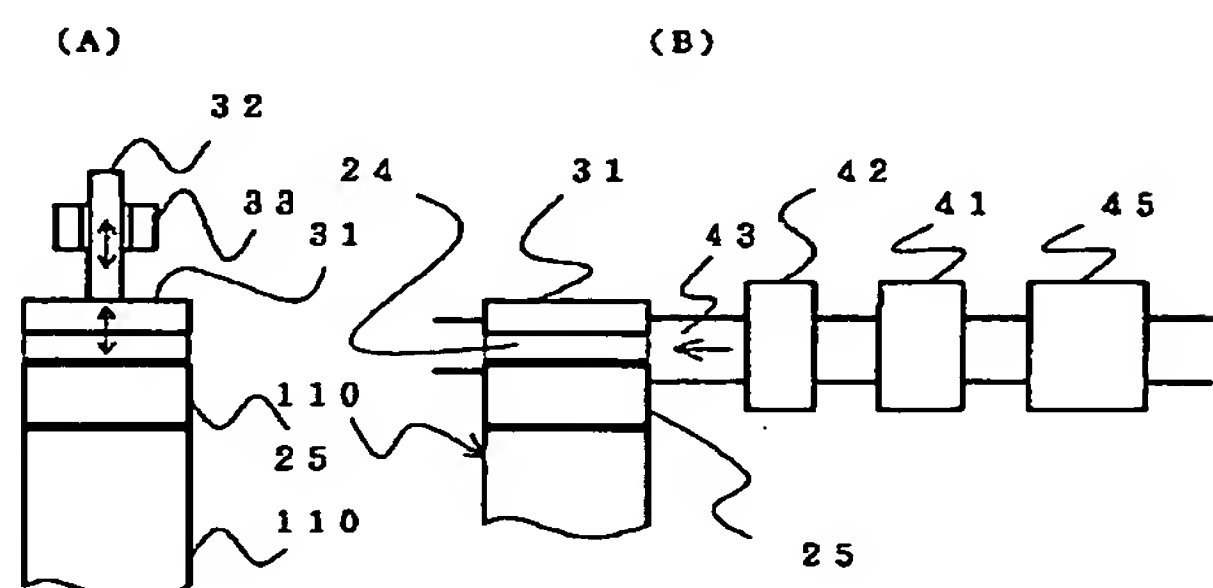
【図4】



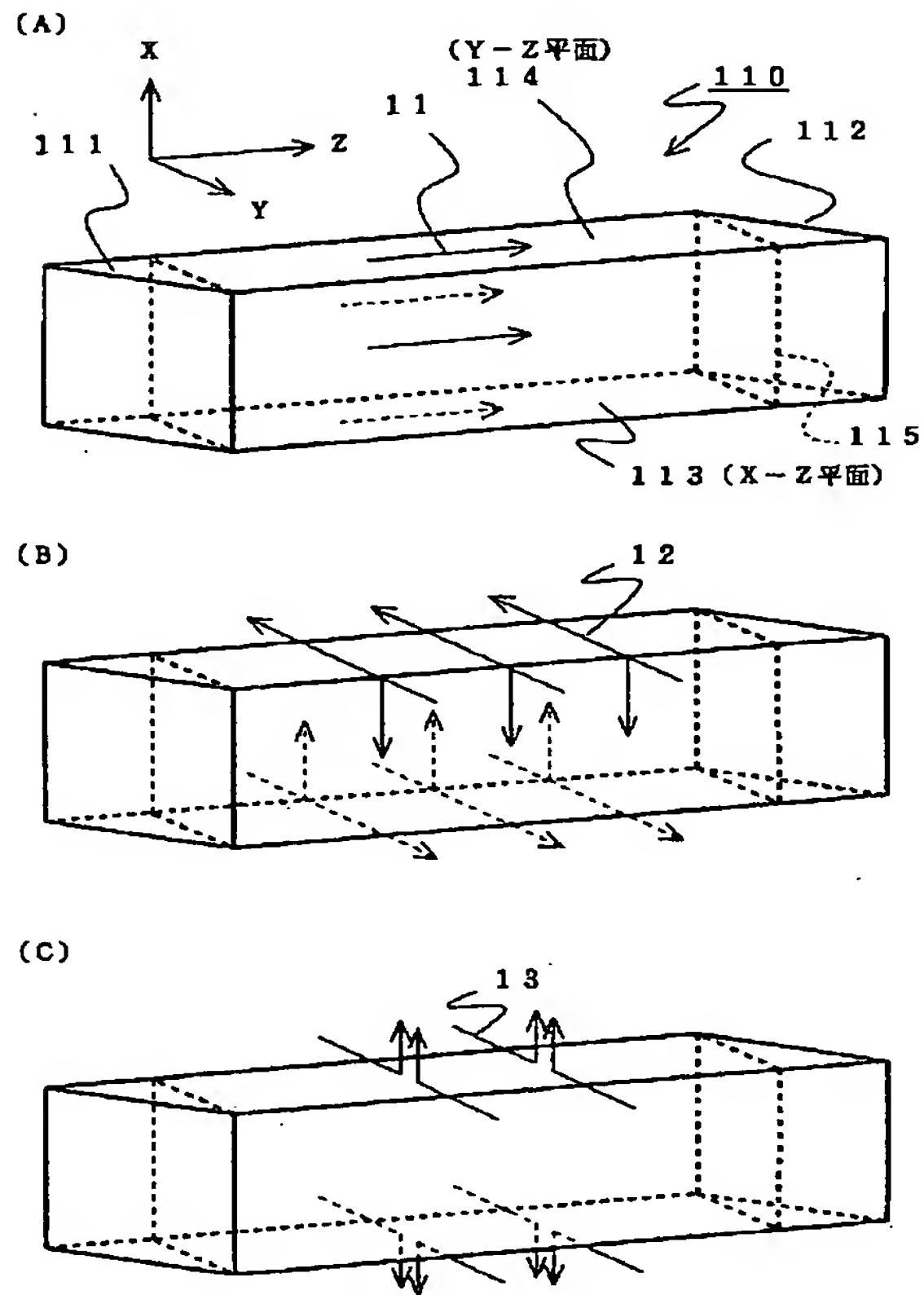
【図3】



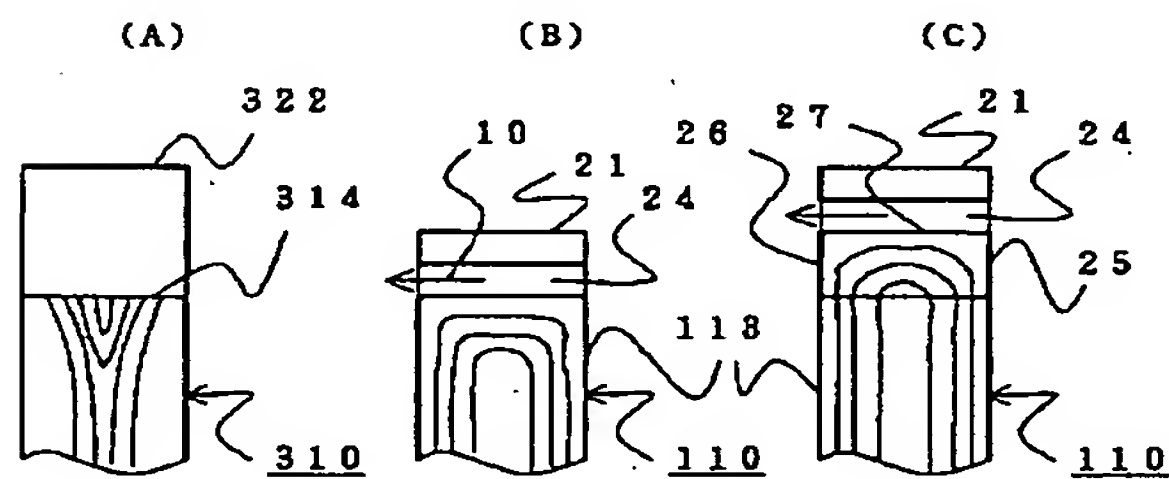
【図6】



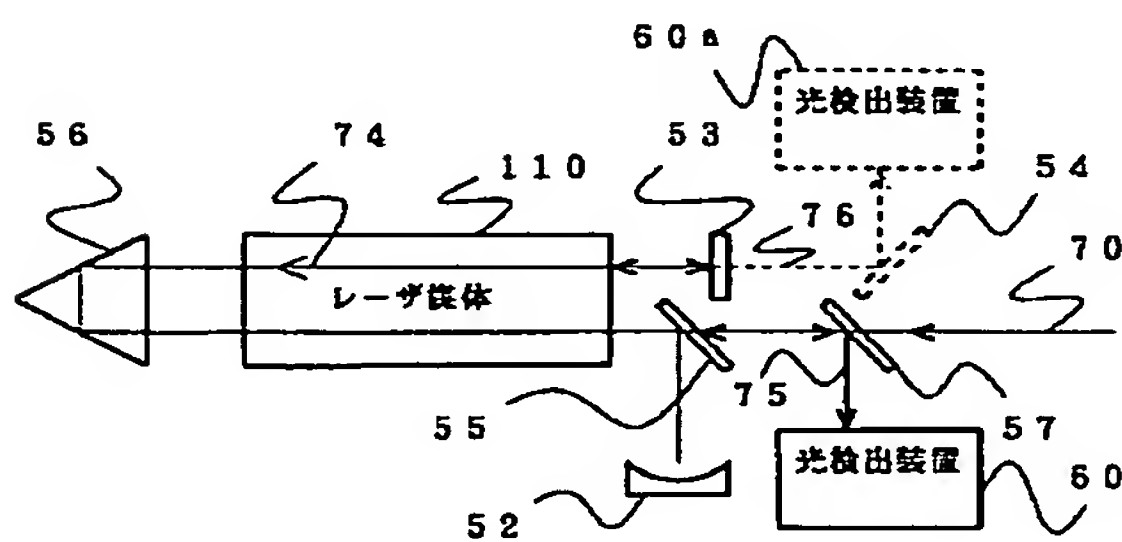
【図1】



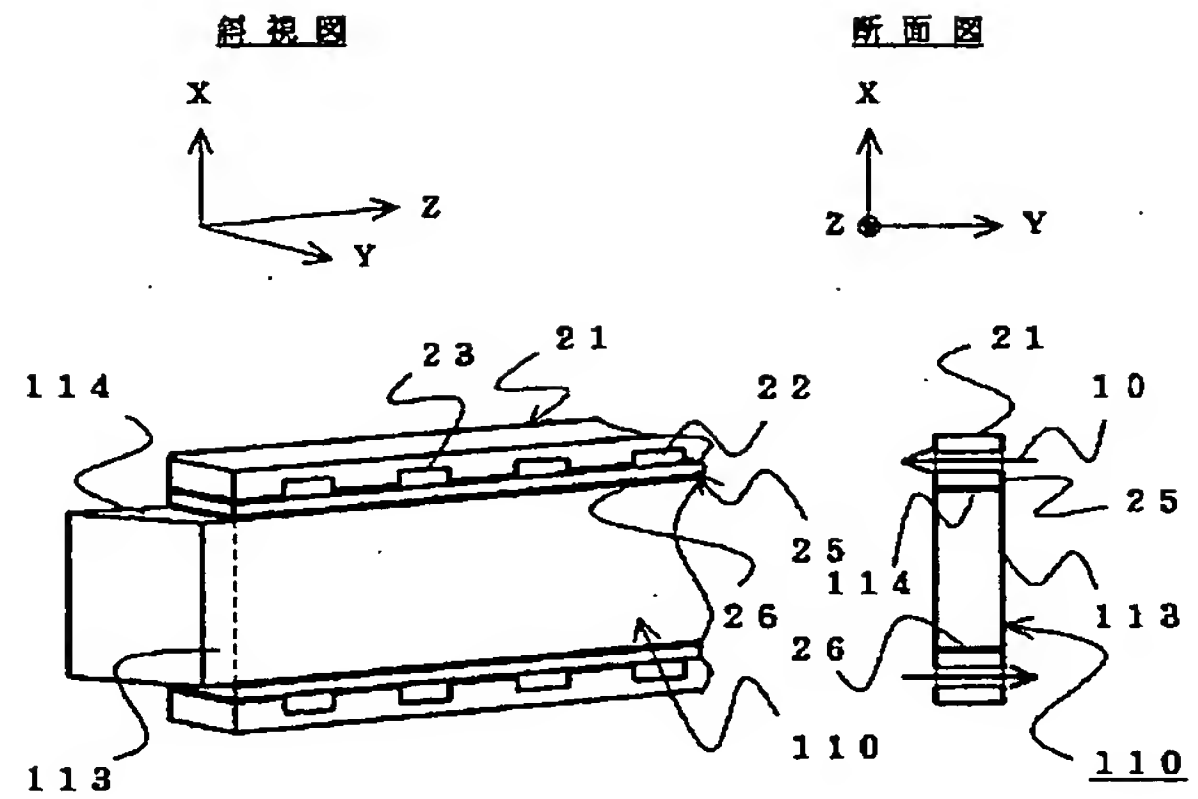
【図7】



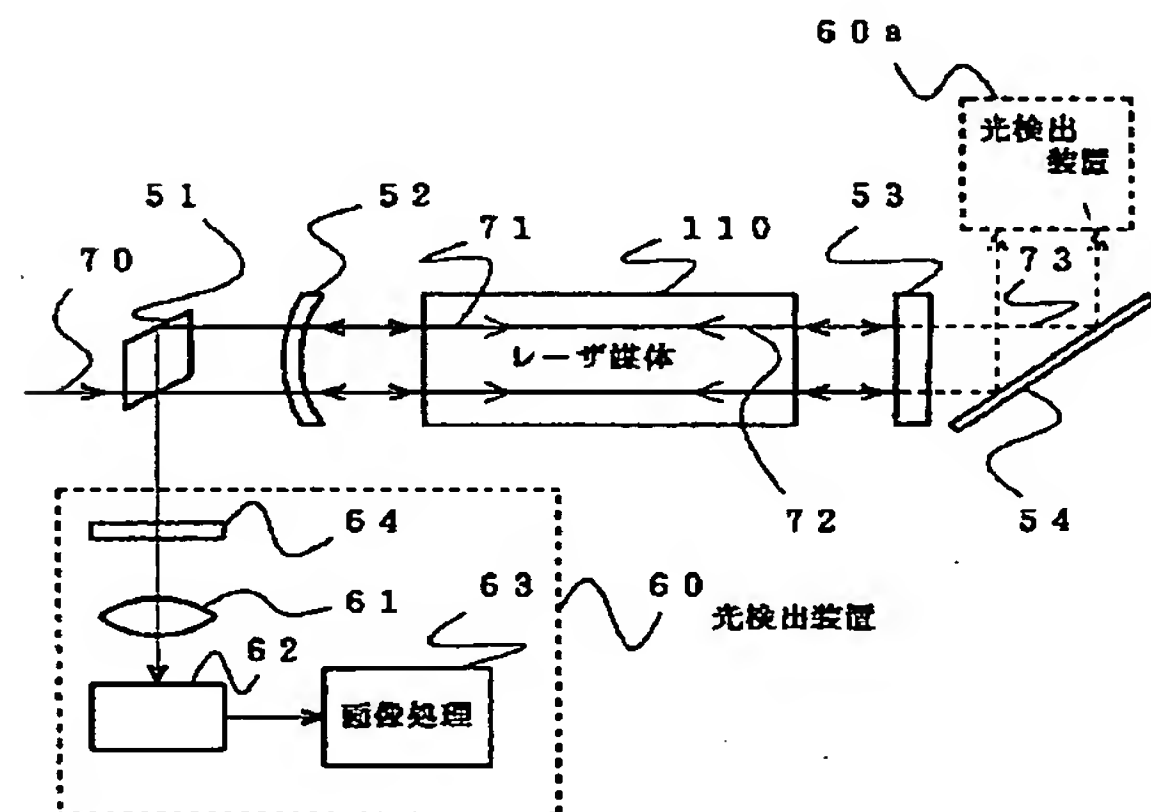
【図9】



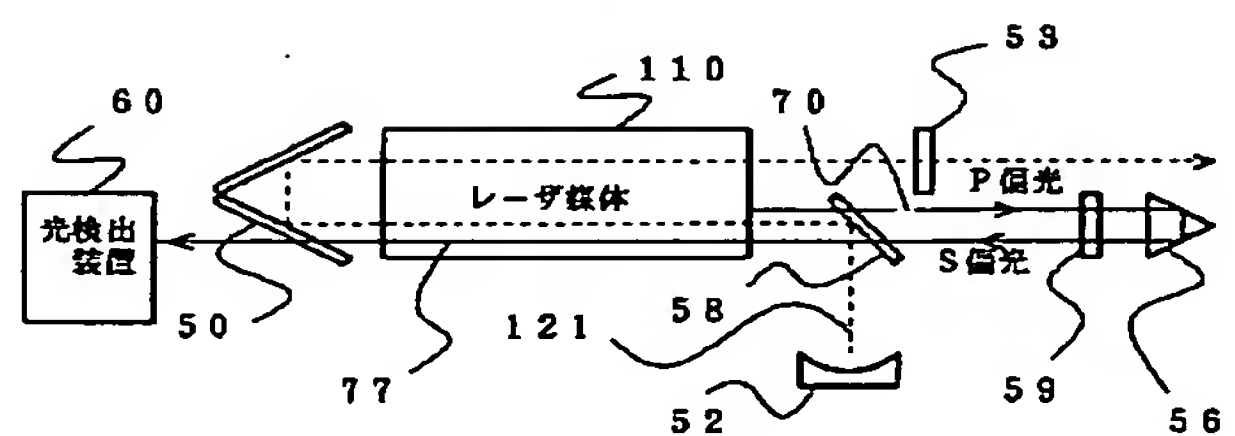
【図5】



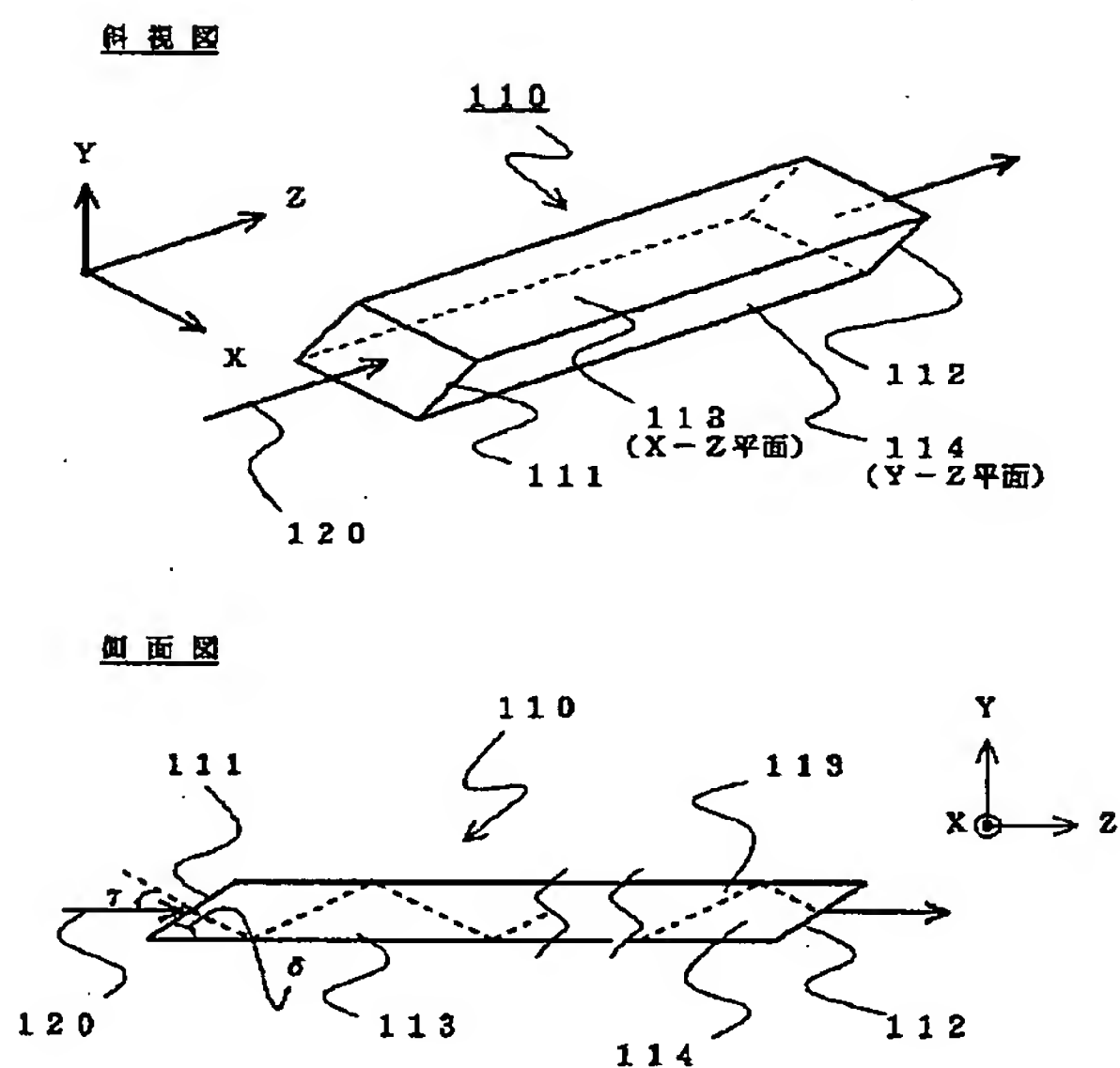
【図8】



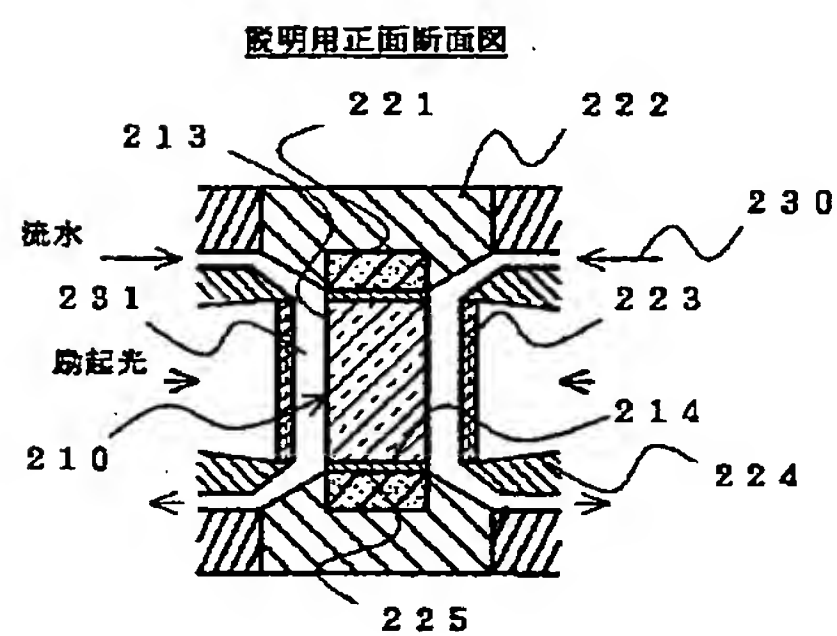
【図10】



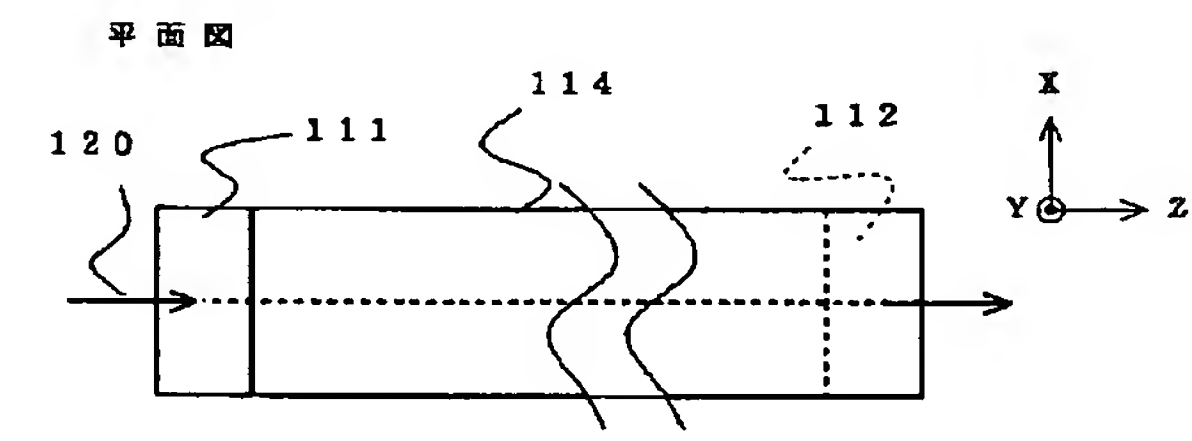
【图 12】



平面图



【圖 14】



平面図

